

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektrotechniky**

**Tvorba projektové dokumentace a realizace laboratorního  
modelu řízeného pohonu**

**Design of project documentation and realization of the  
laboratory model of controlled drive**

**2019**

**Silvestr Vaculovič**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Silvestr Vaculovič**

Studijní program: B2648 Projektování elektrických zařízení

Téma: Tvorba projektové dokumentace a realizace laboratorního modelu  
řízeného pohonu  
Design of project documentation and realization of the laboratory model  
of the controlled drive

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vytvoření demonstračního stanoviště. Student si zdokonalí během řešení problému dovednosti týkající se projektování elektrických zařízení a uvedení realizovaného zařízení do provozu. V rámci řešení bude student muset zvládnout problematiku programování řídicích systémů, měničů a komunikaci laboratorního modelu pomocí moderních systémů.

1. Seznamte se s technickými možnostmi řešení zadané problematiky.
2. Navrhněte vhodné řešení splňující požadavky norem.
3. Vytvořte kompletní realizační projektovou dokumentaci.
4. Vytvořte a popište software řídicího systému.
5. Poveděte praktickou realizaci navrhnutého laboratorního modelu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

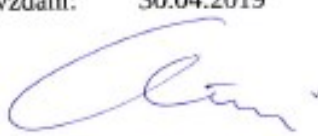
- [1] DVOŘÁČEK, K.: Příručka pro zkoušky projektantů elektrických zařízení, vyd. 1. Praha : IN-EL, 2003. 101 s. elektro., ISBN 80-86230-31-7 (brož.).
- [2] Česká agentura pro standardizaci, <http://www.agentura-cas.cz>
- [3] Schneider Electric CZ, s.r.o., <https://www.schneider-electric.cz/cs/>
- [4] Uživatelská příručka ePlan electric P8, [http://www.eplan.help/help/platform/2.5/cs-CZ/help/EPLAN\\_Help.htm](http://www.eplan.help/help/platform/2.5/cs-CZ/help/EPLAN_Help.htm)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

  
doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *17. dubna 2019*

...  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D a panu Ing. Jaroslavu Vrágovi za odborné rady a konzultace při vytváření této bakalářské práce.

V neposlední řadě poděkování patří také celé mé rodině za morální a materiální podporu během celého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu, realizaci a oživení demonstračního stanoviště, jež bude sloužit pro balancování míče na cívce, která je připevněná k hřídeli motoru.

V teoretické části jsou popsány nasazené nástroje pro návrh HW a SW konfigurace navrhovaného díla. Teoretická část se následně zabývá konkrétními typy průmyslových sběrnic a trendy v industriální komunikaci. Práce také posuzuje požadavky z pohledu norem pro návrh rozváděčů nízkého napětí.

V praktické části je zpracován a popsán postup od návrhu po oživování demonstračního stanoviště. Práce se soustředí na vytvoření schématického zapojení, výrobní dokumentace, trojrozměrného modelu rozváděčové skříně a následné realizaci finálního produktu. Dále se praktická část věnuje parametrizování frekvenčního měniče, programování řídicího systému, návrhu vizualizace a možnosti ovládání zařízení pomocí moderních technologií.

## **Klíčová slova**

3D model, Eplan, HMI, PLC, rozváděč, průmyslová komunikace, SoMachine, VFD

## **Abstract**

Bachelor thesis is focused on desing, realization and commissioning of demonstrational site. It will be used for balancing a ball on a coil, which is attached to a motor's shaft.

Theoretical part describes used tools for design HW and SW configuration of created work. Specific types of data bus and trends in industrial communication. The thesis also assess requirements according to standards for low voltage enclosure desing.

Demonstrational site's desing and commissioning are described and included in practical part. The thesis is focused on creation of wiring diagram, production documentation, three-dimensional model of enclosure and realization of a final product. The practical part is also dedicated to parameterization of frequency converter, programming of control system, design of visualization and possibilities of device control using modern technologies.

## **Key words**

3D model, Eplan, HMI, PLC, enclosure, industrial communication, SoMachine, VFD

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam zkratky	Anglický význam
AC	střídavý proud	alternating current
AI	analogový vstup	analog input
AO	analogový výstup	analog output
CAC	počítačem podporované řízení	computer-aided control
CAD	počítačem podporované kreslení	computer-aided drafting
CAE	počítačem podporované inženýrství	computer-aided engineering
CAN	sběrníkový systém	control are network
CFC	programování pomocí volných bloků	continuous fuction chart
CPU	centrální procesorová jednotka	central proccesing unit
ČSN	Česká technická norma	
DC	stejnoseměrný proud	direct current
DI	digitální vstup	digital input
DO	digitální výstup	digital output
EMC	elektromagnetická kompatibilita	elektromagnetic compatibility
EN	evropská norma	european strandard
FBD	programování pomocí funkčních bloků	function block diagram
HMI	operátorský panel (displej)	human machine interface
HW	hardware	hardware
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institut sdružující elektroinženýry a informatiky	Institute of Eletrical and Electronics Engineers
IOT	internet věcí	internet of things
IP	internetový protokol	internet protocol
LAN	lokální síť	local area network
LD	programování pomocí líniových/releových schémat	ladder diagram
LED	elektroluminiscentní dioda	light emitting diode

---

<b>LT</b>	zakoňující odpor na konci sběrnice	line termination
<b>PLC</b>	programovatelný logický automat	programmable logic controller
<b>POE</b>	napájení po datovém kabelu	power over ethernet
<b>SMD</b>	elektronické součástky určené pro povrchovou montáž na desky plošných spojů	surface mount device
<b>SW</b>	software	software
<b>TCP</b>	protokol používaný v síti internet	transmission control protocol
<b>THD</b>	celkové harmonické zkreslení	total harmonic distortion
<b>UDP</b>	protokol používaný v síti internet	user datagram protocol
<b>Wi-Fi</b>	komunikační standard pro bezdrátový přenos dat	wireless fidelity

---



# Obsah

Úvod.....	- 4 -
1   Softwarové nástroje.....	- 5 -
1.1   EPLAN Electric P8 .....	- 5 -
1.2   EPLAN Pro Panel.....	- 5 -
1.3   AUTODESK INVERTOR .....	- 5 -
1.4   SoMachine.....	- 5 -
2   Průmyslové sběrnice .....	- 6 -
2.1   Sběrnice CAN .....	- 6 -
2.2   Sběrnice RS485 .....	- 8 -
2.3   Ethernet .....	- 9 -
2.4   Trendy v průmyslové komunikaci.....	- 10 -
3   Požadavky na rozváděče nízkého napětí .....	- 11 -
3.1   Hlavní vypínač .....	- 11 -
3.2   Spoje a vedení .....	- 11 -
3.3   Umístění a montáž.....	- 12 -
3.4   Značení .....	- 12 -
4   Návrh technologie .....	- 13 -
4.1   Použitá zařízení .....	- 13 -
4.1.1   Měnič frekvence .....	- 13 -
4.1.2   Filtr harmonických vyšších řádů .....	- 14 -
4.1.3   Servomotor .....	- 14 -
4.1.4   Programovatelný automat.....	- 14 -
4.1.5   Operátorský panel.....	- 14 -
4.1.6   Router .....	- 15 -
4.1.7   Snímač vzdálenosti.....	- 15 -
4.1.8   Jistící zařízení .....	- 15 -
4.2   Koncepce zapojení sběrnic.....	- 16 -
4.3   Uspořádání rozváděče .....	- 16 -
5   Referenční značení ve výkresové dokumentaci .....	- 18 -

6	Návrh 3D modelu rozváděče.....	- 19 -
6.1	Vytvoření 3D modelů jednotlivých komponent .....	- 19 -
6.2	Příprava modelů v EPLAN Pro Panel .....	- 19 -
6.3	Osazování rozváděče.....	- 20 -
6.4	Automatické drátování rozváděče .....	- 20 -
6.5	Možnosti využití.....	- 21 -
7	Realizace navrhnutého zařízení.....	- 22 -
8	Programování a parametrizování .....	- 25 -
8.1	Základní parametrizace komunikací a přístupové údaje .....	- 25 -
8.2	Nastavení frekvenčního měniče .....	- 25 -
8.3	Programování PLC.....	- 27 -
8.4	Návrh vizualizace operátorského panelu.....	- 28 -
8.4.1	Vzdálený přístup k operátorskému panelu .....	- 29 -
9	Uvádění zařízení do provozu.....	- 30 -
10	Termovize .....	- 31 -
11	Budoucí vývoj stanoviště .....	- 32 -
	Závěr .....	- 33 -
	Použitá literatura .....	- 34 -
	Seznam příloh.....	-35 -

## Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu, realizaci a oživení demonstračního stanoviště, jež bude sloužit pro balancování míče na cívce připevněné k hřídeli motoru.

V teoretické části jsou popsány nasazené nástroje pro návrh HW a SW konfigurace navrhovaného díla. V práci jsou následně rozebrány použité typy sběrnic (CAN, RS485, ETHERNET), které se využívají v průmyslových aplikacích. V tomto okruhu jsou také zmíněny trendy v průmyslové komunikaci, které jsou dnes svázány s nastupující tzv. čtvrtou průmyslovou revolucí. Teoretickou část práce uzavírá rozbor elektrotechnických zařízení použitých pro návrh demonstračního stanoviště s ohledem na platné normativní požadavky.

V praktické části je zpracován a popsán postup od návrhu po ožívování demonstračního stanoviště. Práce se soustředí na vytvoření schématického zapojení, výrobní dokumentace a třírozměrného modelu rozváděčové skříně v databázovém systému EPLAN a jeho rozšiřujících platformách. Poté je rozebrán postup realizace demonstračního stanoviště na dílně pro výrobu rozváděčů nízkého napětí. Dále se praktická část věnuje parametrizování frekvenčního měniče (pomocí konvenčních a moderních metod), programování řídicího systému v SW prostředí SoMachine a návrhu vizualizační jednotky s možností vzdáleného ovládání pomocí moderních technologií. V neposlední řadě je v práci rozebrán proces ožívování a diagnostiky pomocí termovizní kamery.

# 1 Softwarové nástroje

Řada řemeslných profesí vyžaduje pro vykonávání práce odborné pomůcky. Tyto nástroje umožňují mnohdy rychlejší a preciznější provedení požadovaného výrobku. Příkladem z běžného života je práce uměleckého kováře, který pro zhotovení výrobku potřebuje požadované nástroje, bez kterých nedokáže žádoucí produkty vyrobit.

Stejně lze nahlížet i na projektanty, kteří používají pro svou práci různé sofistikované nástroje, které jim mohou usnadnit spoustu rutinních prací, a tak mohou strávit více času nad konkrétním řešením technického problému. Softwarových nástrojů pro projektanty existuje nespočet, protože jsou zpravidla určeny pro konkrétní odvětví. V mé práci jsem používal softwary od firem EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG; Autodesk, Inc.; a Schneider Electric SE.

## 1.1 EPLAN Electric P8

Jedná se o rozsáhlý CAE (Computer Aided Engineering) systém, který je určen pro projektování v elektrotechnice. EPLAN neslouží jen pro vytváření elektrotechnické dokumentace, ale je možné v tomto prostředí navrhnout kompletní projekt od dispozičního rozvržení až po seznamy použitých elektrických a mechanických zařízení. Velkou výhodou tohoto programu je možnost práce s databázemi přístrojů, která značně snižují čas, který je potřebný pro vytvoření dokumentace.

## 1.2 EPLAN Pro Panel

EPLAN Pro Panel je řešením pro 3D projektování řídicích skříní a rozváděčových systémů. [10] Software umožňuje 3D rozmístění elektrických a mechanických zařízení, zapojení vodičů a měděných přípojek. Software může pracovat samostatně, nebo může být propojen se softwarem EPLAN Electric P8. Při vzájemném propojení dochází ke zvýšení kvality projektovaného díla. Z tohoto softwaru lze následně generovat data, která mohou být nahrána do strojů, a tak lze zautomatizovat část výroby a eliminovat chybu lidského faktoru.

## 1.3 AUTODESK INVERTOR

Jedná se o strojírenský CAD (Computer Aided Drafting) systém určený pro 3D modelování. Nástroj není určen jen pro 3D kreslení, ale pomocí softwaru lze řešit například pevnostní analýzu modelu a další nezbytné simulace v oblasti konstruování.

## 1.4 SoMachine

SoMachine je rozsáhlý CAC (Computer Aided Control) systém určený pro programování, nastavování a řízení programovatelných automatů, měničů, a vizualizačních jednotek. Systém podporuje všechny programovací jazyky dle IEC 61131-3 a obsahuje širokou škálu knihoven, objektů a bloků pro zjednodušení programování. Tento software vyvíjí firma Schneider Electric.

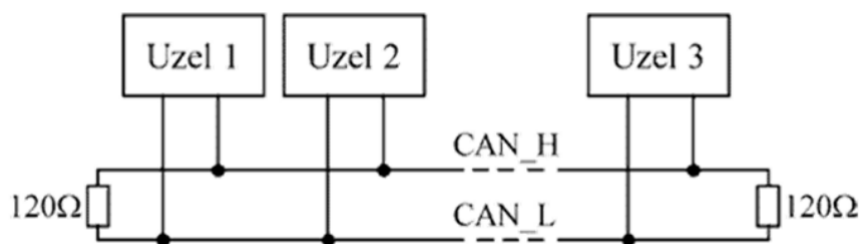
## 2 Průmyslové sběrnice

Komunikační sběrnice se objevují snad ve všech odvětvích elektrotechniky dnešní doby. Po sběrnici může komunikovat spousta zařízení napříč výrobci od čidel pro měření fyzikálních veličin až po dispečerská střediska, kde se získaná data vizualizují. Podstatou sběrnic je, že na ně lze připojit více zařízení, které si navzájem budou předávat řídicí a další informace pro správný chod navrhovaného díla. Z toho plyne, že musí dojít k podstatnému zjednodušení kabeláže, což se také promítne jako snížení realizační a montážní doby projektu, a tedy i konečné ceny. Na druhou stranu si nelze myslet, že jednotlivá zařízení připojíme na Námi zvolenou sběrnici a vše bude fungovat. Je nutno všechna zařízení parametrizovat a jednotlivé povely naprogramovat v jednotce, či jednotkách, které budou navrhnoutou technologií ovládat pomocí daných instrukcí na zvolených komunikačních protokolech.

Jednotlivých linek existuje nespočet. V této práci jsem se zabýval třemi sběrnici: CAN, RS485 a Ethernet.

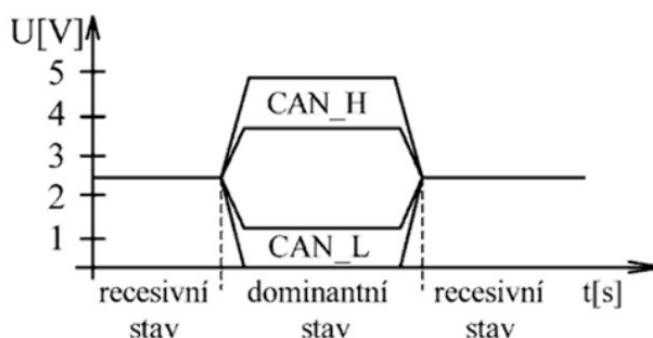
### 2.1 Sběrnice CAN

Sběrnice CAN (Controller Area Network) je sériová linka, která byla původně navržena pro potřebu komunikací senzorů s řídicí jednotkou v osobních automobilech. Díky svým vlastnostem, jako je například relativně rychlý přenos dat a vysoká odolnost proti rušení, se postupem času tato struktura dostala do průmyslových aplikací, kde je hojně využívána s komunikačním protokolem CANopen. Tento protokol podporují elektrická zařízení napříč výrobci, což rozšiřuje možnost využití této sběrnice. Komunikace jednotlivých zařízení je realizována modelem Master-Slave. Jedno zařízení (Master) tedy vydává požadované povely a ostatní zařízení (Slave) tyto povely realizují.



Obrázek 1: Struktura sítě CAN [2]

Sběrnice je realizována pomocí dvou vodičů CAN\_H a CAN\_L. Rozlišuje dvě napěťové úrovně tzv. recesivní a dominantní. Dominantní úroveň je, když na vodiči CAN\_H je napětí mezi 3,5 V a 5 V a na vodiči CAN\_L menší než 1,5 V. V recesivním stavu není rozdíl napětí vodičů větší než 0,5 V. Pokud přinejmenším jedno zařízení na sběrnici nastaví výstup do dominantní úrovně, tak je tato úroveň přenesena na všechna zařízení na sběrnici [2]. Na obou koncích sběrnice se musí vyskytovat zakončovací rezistor o velikosti 120  $\Omega$  kvůli eliminaci odrazů na vedení.



Obrázek 2: Napěťové úrovně CAN [2]

Jednotlivé operace jsou prováděny v reálném čase s přenosovou rychlostí 1Mbit/s<sup>1</sup> při délce sběrnice maximálně 40 m. Se zvětšující se délkou sběrnice postupně klesá přenosová rychlost. Délka se dá prodloužit pomocí tzv. opakovačů.

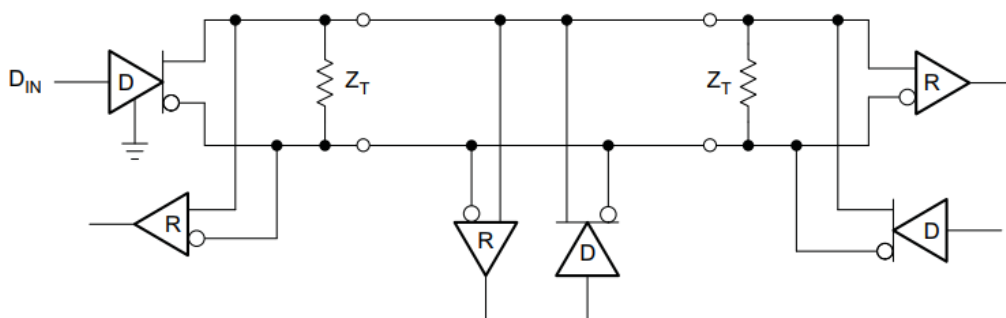
Tabulka 1: Přenosová rychlosti sběrnice CAN [6]

Speed in bit/s	Maximum Cable Length
1 Mbit/s	20 m (65 ft)
800 kbit/s	40 m (131 ft)
500 kbit/s	100 m (328 ft)
250 kbit/s	250 m (820 ft)
125 kbit/s	500 m (1640 ft)
50 kbit/s	1000 m (3280 ft)
20 kbit/s	2500 m (8202 ft)
10 kbit/s	5000 m (16404 ft)

<sup>1</sup> 1Mbit/s = 1Mbaud/s

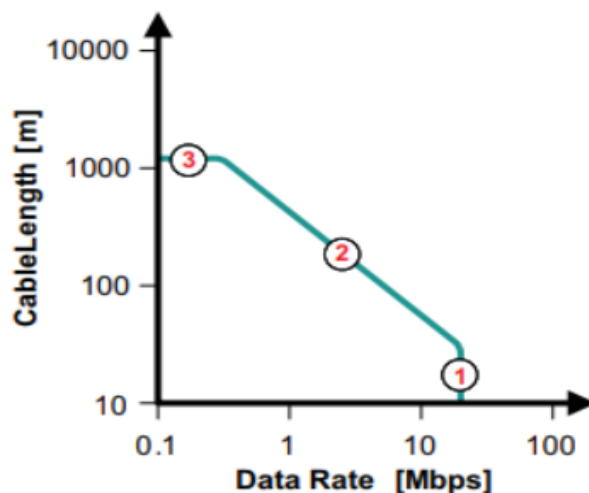
## 2.2 Sběrnice RS485

RS485 je sériová linka používaná v oblasti průmyslové automatizace. Předchůdci této sběrnice jsou linky RS232 a RS422. Sběrnice RS485 řeší nedostatky původních návrhů. Linky se vzájemně liší v definici napěťových úrovní. Za kritické nedostatky RS232 lze z dnešního pohledu považovat pouze možnost point to point<sup>2</sup> komunikace a omezenou vzdálenost vodičů. U RS422 je zase zapotřebí více vodičů pro obousměrný přenos dat. Standard RS485 používá jeden pár vodičů pro oba směry toku informací. [3]



Obrázek 3: Principiální zapojení sběrnice RS485 [4]

RS485 určuje elektrické zapojení a napěťové úrovně. Aby mohli zařízení kooperovat, tak je nutné využít komunikačních protokolů určených pro tuto sériovou linku. Jedním z nich může být protokol Modbus RTU, založený firmou Modicon (dnes Schneider Electric), který je založen na principu Master-Slave. Při konkrétním aplikování linky je nutno vzít v potaz celkovou délku kabelu, který snižuje přenosovou rychlost informace, a také se musí na oba konce linky zapojit terminující odpory o hodnotě  $120\ \Omega$  kvůli eliminaci odrazů na vedení.

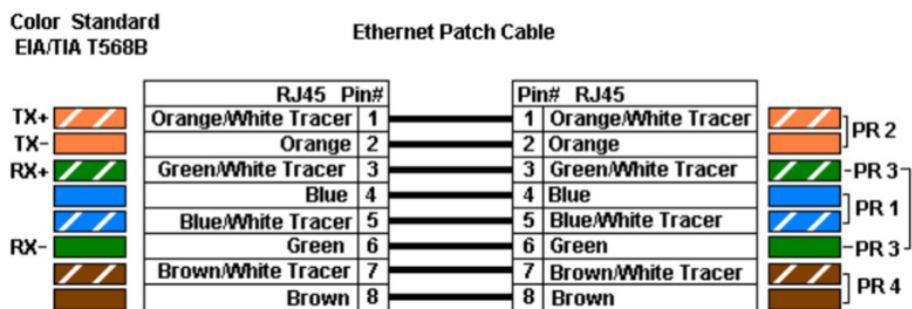


Obrázek 4: Závislost délky sériové linky na přenosové rychlosti [5]

<sup>2</sup> Možnost navázat komunikační spojení pouze mezi dvěma zařízeními.

## 2.3 Ethernet

Ethernet představuje souhrn technologií, které se zabývají přenosem dat. Většina jeho verzí podléhá standardizaci institutu IEEE. Pod pojmem ethernet se skrývá jak realizace první (fyzické) vrstvy, tak druhé (spojové) vrstvy referenčního modelu podle ISO/OSI<sup>3</sup>. [12] Historie ethernetu se datuje do 80. let minulého století, kdy byla vyvinuta první verze tohoto média. Od vzniku standardu byly vyvinuty četné varianty řešení jeho fyzické vrstvy. Starší verze (10Base5 a 10Base2) využívaly koaxiální kabely<sup>4</sup> a pracovaly s přenosovou rychlostí 10Mb/s. Posléze se začaly prosazovat varianty, které namísto koaxiálních kabelů a topologie tzv. sběrnice využívají kroucený pár a stromovou topologii. Dále podporují přenosové rychlosti 10, 100 a 1000 Mb/s (10BaseT, 100BaseTx, 1000BaseTx). [9] Ze stromové topologie vyplývá, že k přenosu dat pomocí této fyzické vrstvy je zapotřebí tzv. přepínače, které jsou spíše všeobecně známé jako switche. Komunikace může tedy probíhat mezi dvěma zařízeními, nebo mezi větší skupinou připojených zařízení. V dnešní době se také využívají místo kroucených párů optické kabely, kde je možné eliminovat elektromagnetické rušení, či atmosférické vlivy elektřiny. Výhodou optických kabelů je také přenos informací na velmi velké vzdálenosti v řádech stovek kilometrů.



Obrázek 5: Fyzické zapojení krouceného kabelu CAT na konektor RJ45

Aby Ethernetová linka byla plně funkční, tak je ji nutné doplnit o komunikační protokoly. Model ISO/OSI definuje sedm vrstev pro sériové komunikace. První dvě vrstvy jsou fyzické. Dalších pět je již komunikačních. Protokol vrstvy 3 (síťové) je IP (Internet Protokol). Protokoly vrstvy 4 (transportní) mohou být TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Data Protocol). Zatímco TCP poskytuje služby spojově orientované, protokol UDP poskytuje nespojované služby. [1] Tyto protokoly nemusí ovšem stačit a jako další lze uvést protokol sedmé vrstvy (aplikační), kterým může být HTTP (Hypertext Transfer Protocol). V tomto členění je nutno také zmínit, že do vrstvy 2 (spojové) lze zařadit bezdrátovou komunikaci Wi-Fi. Jednotlivých vrstev a protokolů je ovšem nespočet, a proto jsem zde uvedl jen ty, které se týkají této práce.

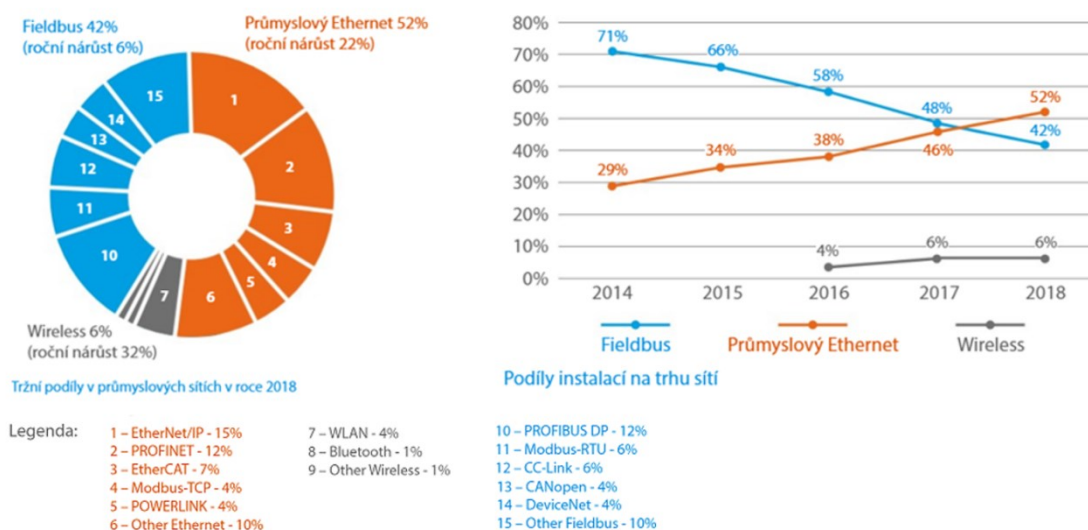
<sup>3</sup> Model standardizace počítačových sítí dle normy ISO/IEC 7498-1:1194

<sup>4</sup> Kabel obsahující jeden vnitřní jádrový vodič, vnější vodič sloužící jako stínění, dielektrickou vrstvu mezi vnitřním a vnějším vodičem a také vrstvu sloužící pro opláštění kabelu. Koncovkou v tomto případě je tzv. BNC konektor se zakončovací impedancí 50Ω nebo 75Ω.



## 2.4 Trendy v průmyslové komunikaci

S příchodem tzv. Průmyslové revoluce 4.0 a IoT<sup>5</sup> stále více roste použití Průmyslového ethernetu v nově instalovaných technologiích. Můžeme tedy očekávat, že tento trend bude stále pokračovat. Průmyslový ethernet v roce 2018 představoval 52 % světového podílu na trhu nově instalovaných sběrnic. V použití této sběrnice ovšem panují obavy z důvodu průmyslové a kybernetické bezpečnosti, a právě proto stále mírně rostou fieldbusy. [7] Lze ovšem očekávat, že počet fieldbusových instalací bude stále klesat. Naopak je možné pozorovat z přiložených dat, že dochází k nárůstu bezdrátových systémů, což má za následek snížení potřebné kabeláže a možnost ovládání zařízení pomocí tabletů nebo smartphonů.



Obrázek 6: Tržní podíly v průmyslových sítích v roce 2018 a podíl instalací na trhu sítí [7]

Zajímavostí průmyslového ethernetu je také možnost napájení přes PoE (Power over Ethernet), kde data a výkon cestují stejnou linkou. Díky této variantě je možné zjednodušit připojování přístrojů a také ušetřit na kabeláži, protože není nutno táhnout k zařízení další napájecí kabel. Na druhou stranu je nutné podle standardu IEEE 802.3bt použít napájecí zdroj o hodnotě 48 VDC-odebíraný výkon může být maximálně 100 W, a tedy nemůžeme uvažovat o napájení velkých průmyslových celků → jedná se spíše o jednotlivá koncová zařízení (např. kamery).

<sup>5</sup> IoT - Internet of things. (Internet věcí)

### 3 Požadavky na rozváděče nízkého napětí

Nezbytným požadavkem pro návrh projektovaného díla je aplikování technických norem (s ohledem na bezpečnost osob, majetku, životního prostředí porozumění návrhu externím odborníkem atp.). Výčet norem je obrovský, což znamená, že požadavky na technické normy se mění podle konkrétního zařízení. Při návrhu rozváděče v této práci bylo nutno brát zřetel na normu ČSN EN 60 204-1 ed.2 Bezpečnost strojích zařízení. Níže je shromážděn nezbytný výčet informací pro návrh demonstračního stanoviště.

#### 3.1 Hlavní vypínač

Zařízení by mělo být připojeno pouze k jednomu napájecímu zdroji, také by mělo být vypínáno jedním hlavním vypínačem. Hlavní vypínač by se měl nacházet v poloze mezi 0,6m až 1,9m nad obslužnou rovinou. Jako hlavní vypínač lze také použít odpojovač, odpínač, jistič či zásuvkové odpojení s kooperací stykače pro zapnutí zařízení. Po vypnutí hlavního vypínače můžou být stále funkční obvody týkající se osvětlení, nebo zásuvek určených pro údržbové práce.

#### 3.2 Spoje a vedení

Všechny spoje musí být zajištěny proti uvolnění a musí být umístěny pouze do svorek, které jsou navrženy pro konkrétní průřez svorkovnice. Jednotlivé vodiče musí být označeny popisky (pro čitelnost v případě údržby nebo výměny jednotlivých zařízení). Vodiče s různou velikostí napětí nemohou být taženy souběžně v instalačních kanálech → pokud jsou nechráněné, tak musí být zajištěno, že nedojde k jejich mechanickému poškození. Pokud jsou vodiče taženy v kabelových žlabech, tak musí být zajištěna eliminace všech ostrých hran (aby také nedošlo k poškození vložených vodičů). V případě souběhu musí být vodiče izolovány na nejvyšší možné napětí, kterému mohou být vystaveny. Vodiče se rozlišují ve střídavé soustavě barvami, kde je povinná varianta pouze pro nulový a ochranný vodič. Identifikace dalších vodičů je pouze doporučena. Vodiče bývají zpravidla označeny následujícími barvami:

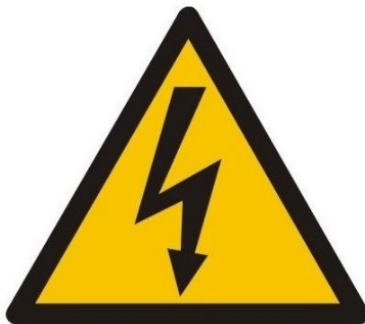
ČERNÁ:	střídavé a stejnosměrné silové obvody
ČERVENÁ:	střídavé řídicí obvody
MODRÁ:	stejnosměrné řídicí obvody
ORANŽOVÁ:	externí napětí
SVĚTLE MODRÁ:	nulový (střední) vodič
ŽLUTO/ZELENÁ:	ochranný vodič

### 3.3 Umístění a montáž

Všechna zařízení musí být namontována tak, aby daný stroj správně pracoval a také aby byla možná jejich snadná údržba či výměna. Přístroje, které neslouží pro ovládání, měření, či indikaci stavů nesmí být umístěny na dveřích rozváděče. Musí být zajištěno oddělení elektrických zařízení určených pro silové obvody a řídicí obvody. Jednotlivá zařízení musí dodržovat rozestupy deklarované výrobcem z důvodu zamezení vyzařování nežádoucího tepla a elektromagnetického záření. Svorky určené pro silové obvody musí být odděleny od svorek, které jsou určeny pro řídicí obvody.

### 3.4 Značení

Rozváděč musí být zřetelně označen a také musí být vybaven výrobním štítkem, kde musí být uveden výrobce, výrobní číslo, jmenovité napětí, proud, charakter sítě a kmitočet (v případě střídavé sítě). Elektrické zařízení, které může způsobovat nebezpečí úrazu elektrickým proudem, musí být označeno výstražným značením dle IEC 60417-5036.



Obrázek 7: Výstražné značení - nebezpečí úrazu před elektrickým proudem

## 4 Návrh technologie

### 4.1 Použitá zařízení

Při zadání této práce mi byly přiřazeny následující zařízení:

- Filtr vyšších harmonických 3TL 10/4 (OKT)
- Měnič frekvence LEXIUM LMX05A22-N4 (Telemecanique)
- Ovladač přídržné brzdy VWM3103 (Telemecanique)
- Servomotor BSH1001T01F1A (Telemecanique)
- Programovatelný automat TM241CEC24T (Schneider Electric)
- Přídavný analogový vstupní modul k PLC TM3AI4 (Schneider Electric)
- Přídavný analogový výstupní modul k PLC TM2AO (Schneider Electric)
- Operátorský panel HMIS85 s CPU HMIS5T (Schneider Electric)
- Bezdrátový N router TL-WR841ND (TP-LINK)

Následně jsem musel vybrat zbylé elektrické přístroje. Jelikož téměř všechna zadaná zařízení spadala pod firmu Schneider Electric, tak jsem se snažil vybírat taková zařízení, která jsou vyráběna právě touto firmou. Při výběru bylo nutné ovšem zohledňovat cenu výrobků a také požadované parametry, a proto se mi nepodařilo vybrat všechny prvky od této firmy. Vybral jsem následující elektrické zařízení:

- Hlavní vypínač OT16FT3 (ABB)
- Jističí prvky (Schneider Electric)
- Jednofázová zásuvka A9A15306 (Schneider Electric)
- Napájecí zdroj MDR-60-24 (MEAN WELL)
- Snímač vzdálenosti S18UIA (BANNER)

#### 4.1.1 Měnič frekvence

Měniče frekvence se využívají pro řízení motorů. Pomocí tohoto zařízení lze řídit otáčky motoru, je možné omezit velikost proudů, nastavit rozběh a doběh či měnit směr otáčení motoru. Skládá se ze 4 základních částí: usměrňovač, meziobvod, střídač a řídicí obvody. Měnič frekvence nejdříve střídavé napětí usměrní na stejnosměrné napětí a následně pomocí polovodičových prvků (střídače), které jsou řízeny mikroprocesorem (řídicími obvody), vytvoří novou napájecí síť o požadovaném napětí a frekvenci, která odpovídá požadovaným otáčkám motoru.

Zvolený měnič frekvence obsahuje spousty parametrů, které se dají nastavit pomocí vizualizačního panelu, který je součástí měniče nebo pomocí parametrizačního programu z počítače. Zařízení obsahuje 2 analogové vstupy - pro řízení otáček pomocí unifikovaného signálu  $\pm 10$  V, digitální vstupy, komunikační porty (CANopen, MODBUS) a také vstupy pro připojení brzděného odporu a ovladače přídržné brzdy.

#### 4.1.2 Filtr harmonických vyšších řádů

U měničů frekvence, z důvodu neustálého spínání polovodičových součástek, dochází k harmonickému zkreslení sinusového proudu THDi a následně zkreslení sinusového napětí THDu. Harmonické proudy lze popsat jakou proudy (liché násobky první harmonické) přidané k původnímu proudu nelineárním členem. [12] Při proudovém zkreslení se sinusový periodický průběh změní na nesinusový periodický průběh. Toto zkreslení následně zvyšuje skutečnou velikost proudu → pokud není odstraněno, tak může dojít k přehřátí kabelů a vyvolání nežádoucích poruch. Jelikož je napětí svázáno s proudem, tak dojde k harmonickému zkreslení napětí. Pro eliminaci harmonických složek vyšších řádů existuje několik různých metod. V našem případě byla zvolena jako filtr síťová tlumivka TL 10/4.

#### 4.1.3 Servomotor

Servomotor je motor, který umožňuje kontrolovat přesnou polohu hřídele, otáčky nebo zrychlení motoru. Tyto motory se provádí v synchronní a asynchronní formě. Použitý servomotor je asynchronní a může dosahovat až 6000 ot/min. Pro přesnou kontrolu aktuálního stavu motoru se v tomto případě využívá encoder<sup>6</sup> se systémem Sin/Cos. Naměřená data lze zobrazovat na obrazovce měniče frekvence. Komunikačním médiem mezi encoderem a měničem je linka RS422.

#### 4.1.4 Programovatelný automat

Jedná se o mikrokontroler, který má jako základ počítač s CPU, do kterého se nahrává řídicí program. PLC dříve nahrazovalo pouze reléovou logiku, ale dnes se používá pro řízení složitých průmyslových procesů. Vyskytují se v kompaktní<sup>7</sup>, nebo v modulární<sup>8</sup> formě.

Pro aplikaci řízení jsem použil již zmiňované kompaktní PLC, s přídatnými AI, AO moduly. Jedná se o zařízení, které je určeno pro řízení pracovních strojů, zařízení a procesů v průmyslovém prostředí. Takto sestavený systém obsahuje 14 digitálních vstupů, 10 digitálních výstupů, 4 analogové vstupy, 2 analogové výstupy a komunikační porty (2x sériový port, ethernetový port, CANový port a USB mini-B port.)

#### 4.1.5 Operátorský panel

Operátorský panel slouží pro vizualizaci daného procesu a usnadňuje přístup obsluhy k datům a k ovládání technologie řízené programovatelným automatem. Použité HMI se skládá z obrazovky HMIS85 a ze samostatného CPU pod označením HMIS5T. Tento celek obsahuje ethernetový port a port pro sériovou komunikaci.

---

<sup>6</sup> Elektromechanické zařízení, které přeměňuje úhlovou polohu, nebo rychlost na analogový, nebo digitální signál.

<sup>7</sup> Jeden modul obsahuje CPU, AI, AO, DI, DO, komunikační modul. Rozšíření je omezeno.

<sup>8</sup> Jednotlivé funkční komponenty jsou rozděleny na moduly, (CPU, AI, AO, DI, DO, komunikace a další) které je nutné spojit, tak aby vytvořily celek, který je vhodný pro konkrétní technologii.

#### 4.1.6 Router

Router se v počítačových sítích používá pro přeposílání datových telegramů od zdroje k cíli. Routování probíhá na třetí vrstvě (síťové) referenčního modelu ISO/OSI. Router lze také použít pro ovládání připojeného zařízení na velké vzdálenosti. Pro tento případ je ovšem nutné požádat poskytovatele internetu o veřejnou IP adresu. Zvolený router je vybaven Wi-Fi vysílačem, 1 portem pro připojení k internetu a 4 porty pro lokální síť LAN.

#### 4.1.7 Snímač vzdálenosti

Na snímač vzdálenosti byly kladeny následující požadavky:

- Rozsah snímání od 1 mm do 300 mm
- Malý časový krok z důvodu měření velmi rychlého děje
- Snímač musí být schopen měřit vzdálenost od plastového míče



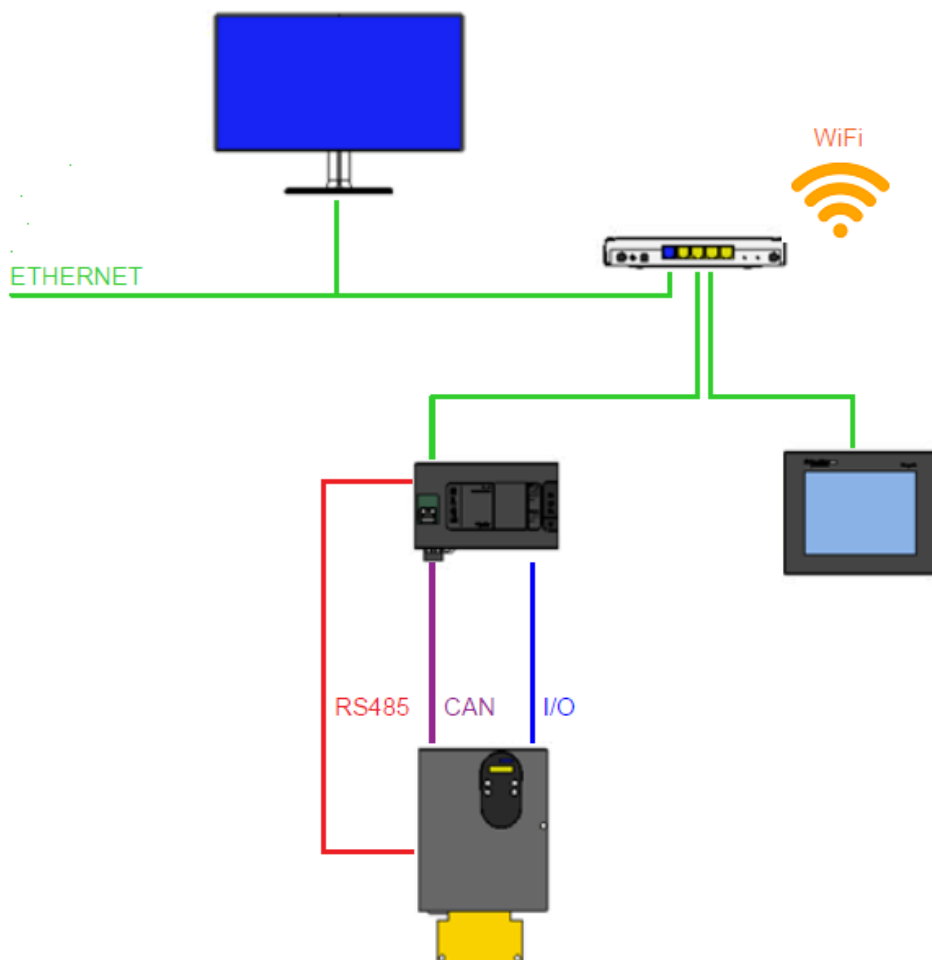
Obrázek 8: Požadovaný rozsah snímání vzdálenosti

Pro zvolenou aplikaci jsem vybral optický snímač U-GATE S18U od firmy BANNER. Pracovní oblast toho snímače je v rozsahu 30 mm až 300 mm s dobou odezvy 2,5 ms. Konkrétní rozsah snímání lze přesně nastavit pomocí programovacího tlačítka umístěného na snímači. Jako výstupní veličinu při volbě snímače jsem zvolil standardizovaný proudový rozsah 4-20 mA.

#### 4.1.8 Jistící zařízení

Nezbytnou součástí návrhu jsou také jistící zařízení, které slouží k odpojení obvodu v případě nežádoucích poruch. V návrhu se proto nachází jističe a pojistky. Pojistka je v podstatě nejslabším článkem obvodu a v případě zkratu dojde k jejímu zničení, a tedy k odpojení části obvodu, kde se nachází zkrat. Jedná se o přístroj pouze na jedno použití, na rozdíl od jističe, u kterého nedochází k destrukci. Úkolem jističe je odpojení obvodů v oblasti nadproudů (bimetalová spoušť) či zkratů (elektromagnetická spoušť). Lze tedy říci, že se jedná o samočinný vypínač, který je možné po odstranění nežádoucí poruchy opět zapnout a využít pro stejný účel opakovaně.

## 4.2 Koncepce zapojení sběrnic



Obrázek 9: Koncepce zapojení sběrnic

## 4.3 Uspořádání rozváděče

Způsob instalace rozváděče, jak bude umístěn, namontován a zapojen na místě instalace, má významný vliv na návrh a celkové uspořádání rozváděče [8].

Pro demonstrační stanoviště jsem zvolil plastový rozváděč s průhlednými dveřmi ARIA64 od firmy General Electric. Je pravděpodobné, že se s tímto modelem bude manipulovat, a proto bylo vhodné použít co nejlehčí možnou skříň. Vývodky pro vstup a výstup kabelů jsou instalovány shora. Jednotlivé přístroje jsou rozmístěny tak, aby splňovaly požadavky dané výrobcem jednotlivých zařízení. Většinou se jedná o způsob uložení (vertikální, horizontální) a rozestupy mezi jednotlivými zařízeními (z důvodu eliminace EMC a ohřívání vedlejších komponent). Je také nutné si uvědomit, že elektrické přístroje obsahují odvětrávání, a pokud se přes tyto odvětrávací průduchy vedou vodiče, tak dochází k menšímu odvodu tepla a k většímu zahřívání jednotlivých přístrojů. Jističe -1FA1 a -1FA7 jsou odděleny ochranou přepážkou,

protože každý z nich jistí jinou velikost napětí. Veškeré elektrické vodiče jsou taženy v kabelových žlabech, popřípadě v chráničkách a to tak, aby byly jejich délky co nejkratší. V navrhnutém rozváděči se nachází dvě napěťové hladiny 230 VAC a 24 VDC. Jednotlivé hladiny jsou od sebe odděleny, a to následujícími barvami:

Šedý žlab - 230 VAC

Modrý žlab - 24 VDC a sběrníkové systémy

Při návrhu mezer mezi kabelovými žlaby a jednotlivými přístroji bylo nutné brát také zřetel na místo, které je potřebné pro popisky jednotlivých vodičů a ohyb kabelů, které vedou z výstupu frekvenčního měniče na motor.



## 5 Referenční značení ve výkresové dokumentaci

K vytvoření projektové dokumentace jsem použil softwarový nástroj EPLAN Electric. Během vytváření schémat jsem vkládal do dokumentace co největší možný počet dat (v papírové podobě dokumentace z části neviditelných), které mi posléze usnadnily práci při návrhu 3D modelu rozváděče a také při závěrečném vyhodnocení.

Při tvorbě elektrických schémat jsem respektoval normy, které se týkají systému referenčního označování (ČSN EN 81346-1), systému značení jednotlivých přístrojů (ČSN EN 81346-2) a dalších, které souvisí se strukturou a přehledností kreslení elektrických schémat.

Jednotlivé přístroje jsem číselně označil podle umístění matky<sup>9</sup> na dané stránce a v daném sloupci. Jako příklad lze uvést označení přístroje -3KF2. Označení KF určuje typ zařízení, kterým je pro tento případ PLC. Číslo 3 označuje číslo stránky v dokumentaci, na které se PLC nachází. Číslo 2 je sloupec.

Pro označování kabelů jsem si vytvořil vlastní systém referenčního značení. V tak malé technologii tento systém není zcela důležitý, ale při projektování větších celků již má své opodstatnění. Aplikoval jsem jej zde, pro lepší orientaci v technologii. Označení kabelů, tedy bude -N1 W X1 X2 N2. Vysvětlení značení viz. Tabulka 1.2.

Tabulka 2: Značení kabelů v technologii

Ozn.	Popis
N1	Číselné označení stránky umístění kabelu ve výkresové dokumentaci
W	Označení, že se jedná o kabel
X1	Určení použití kabelu (P-přenos napětí, D-přenos dat)
X2	Označení charakteru komunikace. Pouze v případě, kdy X1 = D. (C-CANopen, E-Encoder, T-TCP/IP, M-Modbus RTU)
N2	Číselné označení sloupce umístění kabelu ve výkresové dokumentaci

Z tabulky je tedy zřejmé, že kabel pro komunikaci CANopen, na straně 3 a v sloupci 9 výrobní dokumentace, bude označen jako -3WDC9.

---

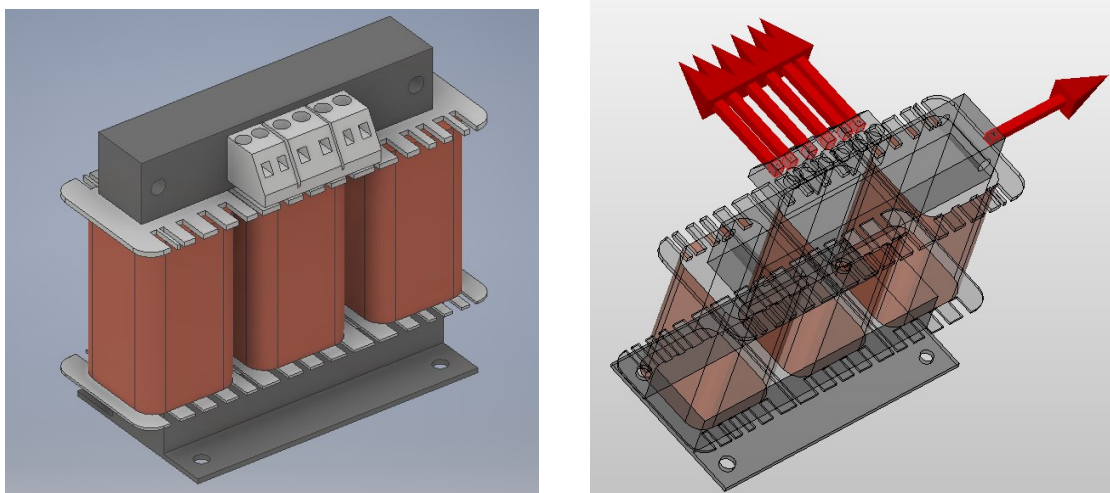
<sup>9</sup> Matka je hlavní blok elektrického přístroje ve schématu, na který se odkazují součásti přístroje → vyskytují na jiných stránkách či sloupcích elektrotechnické dokumentace.

## 6 Návrh 3D modelu rozváděče

3D návrh modelu rozváděče jsem realizoval pomocí softwaru EPLAN Pro Panel.

### 6.1 Vytvoření 3D modelů jednotlivých komponent

Některé 3D modely elektrických přístrojů se dají stáhnout přímo ze stránek výrobců nebo jsou volně dostupné na Data portálu<sup>10</sup>. Je nutné ovšem říci, že součástek, které jsou zpracovány ve 3D je minimum, a i když jsou, tak nemusí být vypracovány v požadované kvalitě. Většinu bylo nutné vytvořit. Pro vytváření či úpravu jednotlivých 3D modelů jsem používal AutoCad Inventor, kde jsem musel vytvořit většinu elektrických přístrojů a mechanických částí(samozřejmě podle reálných rozměrů). Výstupní soubory musely být ukládány ve formátu stp.



Obrázek 10: Filtr harmonických vyšších řádů. Vytvořený model v programu Autocad Inventor(vlevo), práce s modelem v programu EPLAN Pro Panel (vpravo)

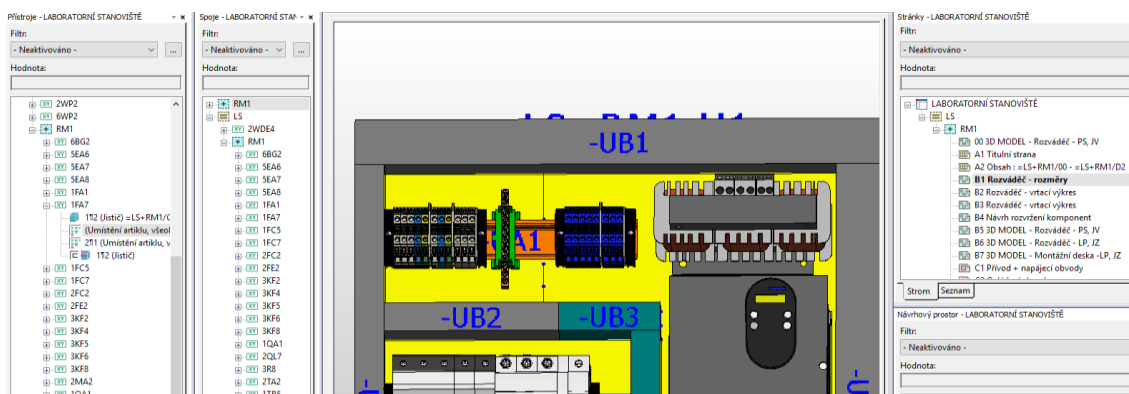
### 6.2 Příprava modelů v EPLAN Pro Panel

Jakmile je model hotový, tak je nutné jej importovat do Pro panelu. Po vložení tohoto modelu je model tzv. prázdný. Je sice nakreslený, ale prakticky nepoužitelný pro potřebné účely. Na modelu se musí definovat montážní plocha, která je určena k dosednutí-v případě filtru vyšších harmonických na montážní desku rozváděče. Je také nutné nastavit uchopovací bod, tedy bod, který je důležitý pro uchytávání jednotlivých součástek za sebe. V neposlední řadě je nutné nastavit schémata napojení, kde se nastaví místo zapojení jednotlivého pinu, název a směr napojení. Model se následně uloží jako makro→poté se toto makro musí přiložit k artiklům jednotlivých přístrojů do záložky Montážní data→Grafické makro. Tímto krokem hotový 3D model přiřadíme do databáze hotových prvků.

<sup>10</sup> Databáze elektrických, mechanických a dalších součástek pro program EPLAN a jeho nástavby.

### 6.3 Osazování rozváděče

Osazování rozváděče jednotlivými přístroji probíhá v podstatě stejně jako při jeho skutečné realizaci na dílně. Předností tohoto rozhraní je, že intuitivně komunikuje s již nakresleným elektrickým schématem. Jakmile je více pólové schéma nakreslené, tak stačí otevřít 3D návrhový prostor, kam si vložíme námi zvolený rozváděč. Rozváděč se následně osadí mechanickými prvky, jako jsou kabelové žlaby, DIN lišty atp. Tyto prvky se vybírají z databáze prvků a po jejich vložení (například na montážní desku rozváděče) se přiřadí do výstupního kusuovníku artiklů. Poté stačí z menu Přístroje (přístroje, které se nachází v elektrických schématech již nakresleného více pólového zapojení) přetahovat jednotlivá zařízení do návrhového prostoru, kde se nám zobrazí jejich 3D model, který vložíme na námi požadované místo. Rozváděč jsem osadil vrtacími otvory (například u hlavního vypínače, nebo u průchodek). Jednotlivé přístroje mohou obsahovat ve své struktuře vrtací otvory a tyto otvory se nemusí přiřazovat-samy se mohou zobrazit ve vrtacích plánech (například pro CNC zařízení). U jednotlivých přístrojů jsem tyto vrtací plány ovšem nevytvářel.



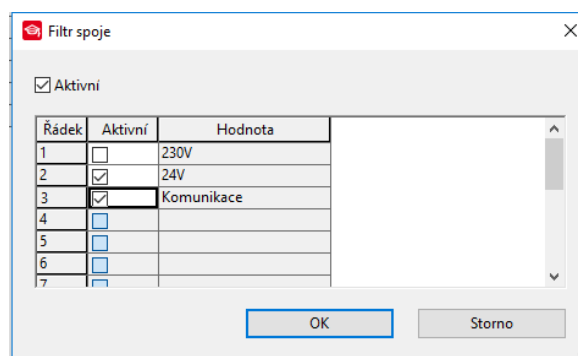
Obrázek 11: Prostředí návrhového prostoru programu EPLAN Pro Panel

### 6.4 Automatické drátování rozváděče

V praxi jsem se setkal se situacemi, kdy se věci kreslí v EPLANU tzv. „na oko“ bez funkčních provázaností. V tom případě prakticky nelze realizovat automatické vydrátování rozváděče. Při samotném kreslení výkresů je nutné správně definovat definici cílů spojů, označení barvy a tloušťky vodičů. Také je nutné myslet na směr připojení vodičů do svorkovnic a na správné nastavení jednotlivých modelů v 3D. Pokud jsou všechny podmínky splněny lze pomocí jednoho příkazu v menu Spojte vydrátovat jedním stiskem celý rozváděč. A to pomocí příkazu Položit (návrhový prostor).

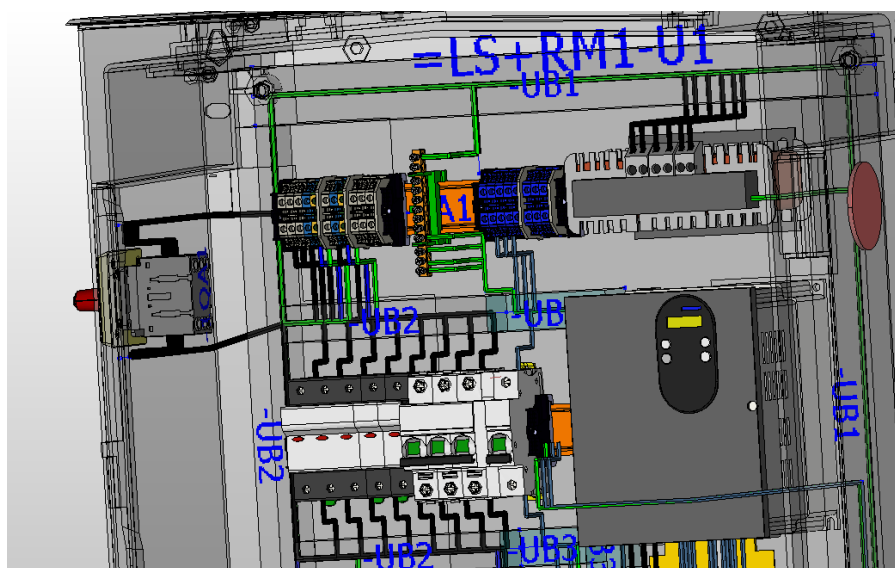
Před tímto úkonem jsem ovšem musel nadefinovat cesty, kterými můžou být jednotlivé vodiče a kabely vedeny. Jelikož se v rozváděči nachází více napěťových hladin, tak jsem musel určit, který kabelový žlab je určen pro jaké napětí. Samotné hladiny se zadají jednou v nastavení projektu → poté se již vybírají ve filtru spoje každého jednotlivého kabelového žlabu. Cesty, které

vedou mimo kabelové žlaby se musí nadefinovat ručně. Taková cesta byla potřebná vytvořit například k hlavními vypínači, který se nachází na levých bočních dveřích rozváděče.



Obrázek 12: Nastavení filtru spoje kabelových žlabů

Po těchto úkonech již bylo možné model vydrátovat. Výsledek lze vidět na přiloženém obrázku. Velkou zajímavostí je také to, že program automaticky přidá do výkresové dokumentace délky jednotlivých vodičů a kabelů, a tak je možné prakticky bezpracně získat představu o celkové požadované délce kabeláže.



Obrázek 13: Ukázka automatického vydrátování rozváděče +RM31.12

## 6.5 Možnosti využití

Čtenář této práce si jistě bude říkat, že jsou tyto funkce pro praktickou výrobu zbytečné. To ovšem není pravda. Již dnes je možné celý model předat jednotlivým výrobním strojům, kde CNC vyvrtá požadované otvory. Další stroj rozmístí mechanické součástky a poté jednotlivé elektrické přístroje. Z dat automatického vydrátování mohou stroje nastříhat vodiče na požadovanou délku, a také je zapojit. V neposlední řadě tyto modely mohou sloužit jako ukázky pro pracovníky výroby, kteří si budou moci vizualizovat pomocí brýlí jednotlivé kroky pro výrobu rozváděče.

## 7 Realizace navrhnutého zařízení

Před samotnou realizací bylo nutné nakoupit všechny požadované výrobky. V této fázi přípravy jsem se přesvědčil o tom, jak pracné a zdoluhavé může být nakupování komponentů. Velkou výzvou bylo pořízení modrého kabelového žlabu, který se mi podařilo získat po více než měsíci usilovné emailové korespondence a telefonátů, protože tento výrobek není úplně běžným sortimentem. Mnohem delší dobu také trvalo zabezpečit oddělovací přepážku mezi jednotlivými jističi. Velkou část elektrotechnických a mechanických komponentů jsem nakoupil v místě, kde jsem vyráběl rozváděč, což mi ušetřilo spoustu práce.

Postup realizace lze pozorovat na přiloženém obrázku. Nejdříve jsem si vyvrtal pomocí ruční vrtačky díry na montážní desku, které byly nutné pro přichycení kabelových žlabů, DIN lišt, filtru harmonických a frekvenčního měniče. Poté došlo k osazení montážního platu těmito mechanickými prvky, a také již jmenovanými elektrickými zařízeními. Následně jsem umístil jednotlivé elektrické přístroje a bižuterii na DIN lišty přesně podle hotové výkresové dokumentace. Všechny přístroje jsem popsal jejich označením, které mají ve výkresové dokumentaci. Popisy jsem umístil přímo na přístroje, a také na montážní plato (pro jejich lepší identifikaci). Následně jsem si vytiskl popisky na jednotlivé kabely a vodiče, které budou určovat identifikaci napojení. V praxi jsem se setkal s více možnostmi identifikace napojení vodičů a zpravidla záleží na zvyklostech dané firmy či projektantů. V případě, že bych měl delší plochu samotných popisek, tak bych zvolil variantu, kde se na každém popisku vodiče nachází zdroj i cíl napojení vodiče. Popisky, kterými jsem disponoval ovšem nebyly dostatečně dlouhé, a tak jsem se rozhodl pro variantu na kterou jsem zvyklý, a to takovou, kde se nachází na svorce u přístroje popisek s cílem napojení vodiče. Při drátování rozváděče jsem také musel myslet na vodiče, které půjdou na dveře bedny. Tyto vodiče nebylo možné zapojit na obou stranách, a proto jsem je nechal s dostatečnou rezervou pro budoucí možnost napojení.

Jakmile bylo montážní plato hotové, tak jsem se pustil do úpravy bedny rozváděče. V této bedně jsem musel vyvrtat díry pro kabelové průchodky, uchycení motoru, pro hlavní vypínač a také díru pro připevnění HMI. Při hloubení díry pro HMI bylo nutné postupovat opatrně, aby nedošlo k poškrábání průhledného plastu. Po dostatečném očištění vytvořených otvorů jsem nainstaloval kabelové průchodky a poté jsem vložil hotové montážní plato do plastového rozváděče. Následně jsem rozváděč vybavil zbylými elektrickými zařízeními (jako byl například hlavní vypínač a ethernetový switch, ke kterým jsem přivedl nezbytné vodiče a kabely).

Předposledním úkonem bylo osazení dveří. Tato práce mi zabrala polovinu pracovního dne, jelikož jsem tuto věc domýšlel na dílně (nebylo ji možné vymyslet od stolu). Konkrétně mám na mysli umístění led pásků tak, aby jejich vyzařované světlo nebylo zastíněno mechanickými prvky bedny. Jednu stranu led pásku jsem umístil na dveřní mechanismus pro otevírání a zavírání dveří. Zde jsem musel nastavit ideální délku vodičů tak, aby bylo možné zavírání dveří a také, aby nedošlo k možnému poškození jednotlivých spojů, protože vodiče byly připojeny pomocí mikropájky.

Jako poslední krok jsem osadil demonstrační stanoviště motorem, snímačem a identifikačními popisky.

Samotná realizace mi zabrala 50 hodin. V příložené tabulce lze pozorovat náplň práce během jednotlivých dnů.

Tabulka 3: Náplň práce během realizace elektrického zařízení

den	Datum	doba (h)	Pracovní činnost
pá	26.10.2018	8	Navrtávání montážní desky, umístění žlabu a din lišt, umístění přístrojů, popis jednotlivých přístrojů
po	29.10.2018	8	Vytvoření popisků pro vodiče, drátování rozváděče
čt	01.11.2018	8	Drátování rozváděče, natažení komunikačních kabelů, vytvoření krytů na kabelové žlaby, vrtání bedny a dveří, osazení bedny průchodkami, vložení montážní desky do plastového rozváděče
pá	02.01.2018	8	Instalace hlavního vypínače, osazení dveří osvětlením, pájení spojů vodičů, přichycení motoru
čt	08.11.2018	9	Zapojení kabelů připojených k motoru, připojení čidla na svorkovnici, nákup zbylých součástek, uchycení magnetického snímače
pá	09.11.2018	9	Zapojení kabelové koncovky pro encoder, doděláný chybějících popisků vodičů, realizace polepení rozváděče, finální úpravy



Obrázek 14: Pracovní stůl

V této části práce bych také chtěl poděkovat panu Jánovi Chudíkovi, který mi poskytl výrobní prostory pro praktickou realizaci demonstračního stanoviště.





*Obrázek 15: Postup při realizaci demonstračního stanoviště*

## 8 Programování a parametrizování

### 8.1 Základní parametrizace komunikací a přístupové údaje

<b>Router -3XF1</b>	
<b>Přístup</b>	
Uživatelské jméno	admin
Heslo	admin
<b>Ethernet</b>	
IP Adresa	192.168.134.1
Maska	255.255.255.0
<b>Wi-Fi</b>	
Název sítě:	RM_31_12
Heslo	eb110eb110

<b>Externí mobilní zařízení</b>	
<b>Přístup</b>	
Program	Vijeo Design' Air Free
Jméno	HMI_31_12
Port	6002

<b>PLC -3KF2</b>	
<b>Přístup</b>	
Program	PLC 31_12
Jméno	Administrator
Heslo	eb110
<b>Ethernet</b>	
IP Adresa	192.168.134.100
Maska	255.255.255.0
<b>CANopen</b>	
Node ID	51
Baudrate	2500000 bit/s
<b>MODBUS RTU</b>	
budoucí možnost	

<b>PLC -3KF6</b>	
<b>Přístup</b>	
Program	SoMachine: PLC 31_12
Jméno	Administrator
Heslo	eb110
<b>Ethernet</b>	
IP Adresa	192.168.134.102
Maska	255.255.255.0

<b>PLC -2TA2</b>	
<b>Přístup</b>	
Programovací obrazovka	
Software Power suite	
<b>CANopen</b>	
Node ID	52
Baudrate	250 kbaud
<b>MODBUS RTU</b>	
budoucí možnost	

Obrázek 16: Základní parametrizace komunikací a přístupové údaje

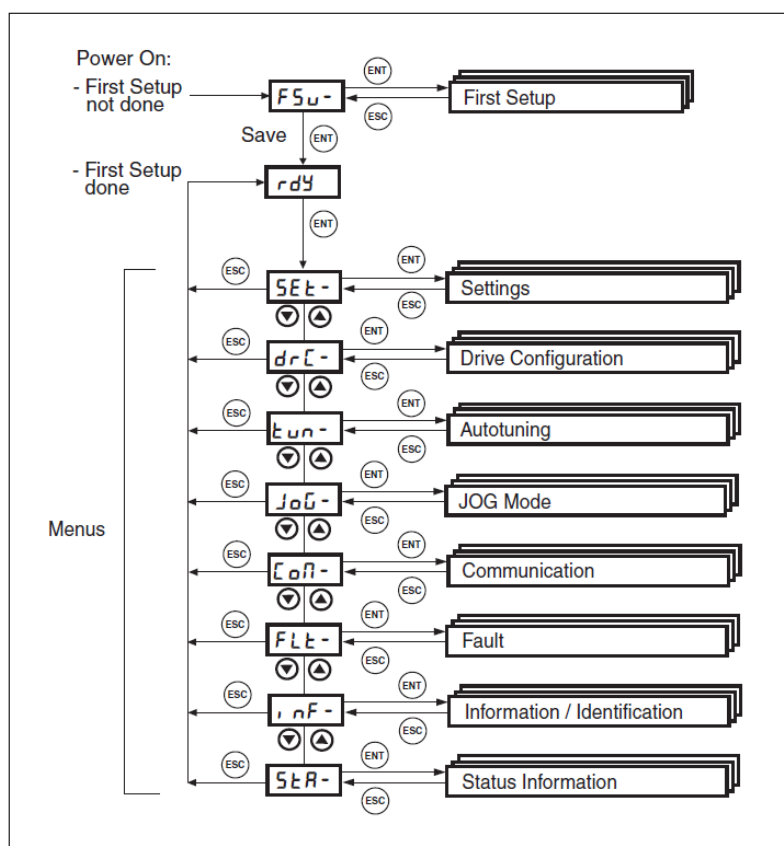
### 8.2 Nastavení frekvenčního měniče

Frekvenční měnič je možné parametrizovat (nikoliv programovat) tak, aby vyhovoval přesným účelům pro danou aplikaci. Při začlenění tohoto zařízení do technologie jsem musel řešit spoustu výzev, jelikož se jednalo o starší výrobek. Při samotném parametrizování jsem chtěl využít doplňkový SW Power suite. Tuto možnost nakonec nebylo možné realizovat, protože komunikace měniče s PC byla možná pouze pomocí RS485/RS232 linek a dnešní počítače již standardně neobsahují tento vstup. Při budoucím vývoji bych ale určitě zvážil pořízení USB-



RS485 převodníku, který by tento problém vyřešil a usnadnil by parametrizaci a vyhodnocování chyb pomocí počítačového programu. Pro nastavování jednotlivých parametrů jsou další dvě možné varianty. Těmi jsou: 1. nastavování pomocí HMI na přední straně měniče, 2. nastavování pomocí fieldbusových sběrnic. Prvotní nastavení "First Setup" jsem realizoval pomocí HMI obrazovky, kde jsem definoval základní požadavky na ovládání zařízení.

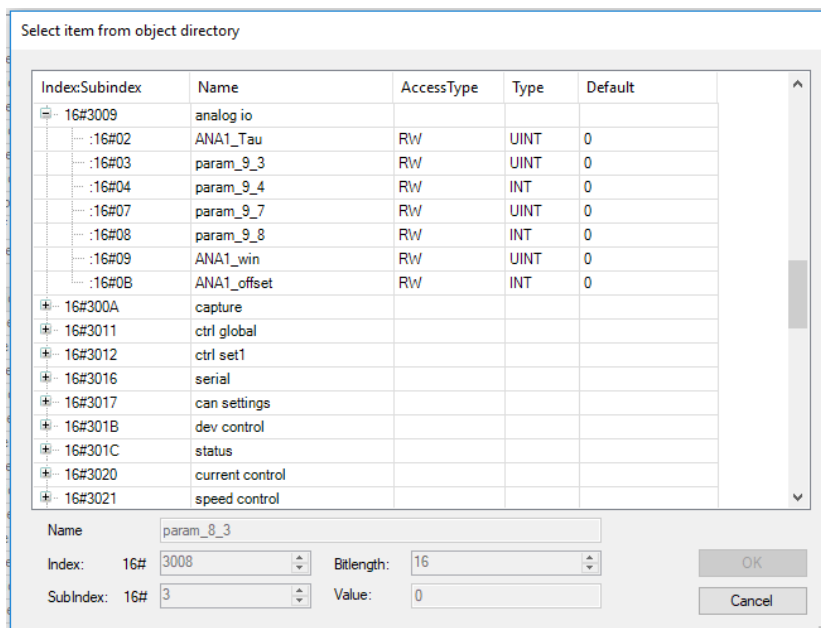
Parametrizace pomocí HMI obrazovky měniče nabízela možnost pracovat s celkem 73 parametry. Jednotlivé parametry slouží jak pro samostatné nastavování měniče, tak pro zobrazování aktuálních hodnot fyzikálních veličin (odebíraný proud, otáčky motoru, atp) či pro signalizaci poruch.



Obrázek 17: Základní menu parametrů nastavitelných přes HMI měniče frekvence

Pomocí fieldbusových sběrnic je možné nastavit více parametrů než v případě nastavování přes obrazovku měniče. K samotnému nastavování jsem využíval SW SoMachine, kde jsem přiřadil do stromové struktury pod programovatelný automat použitý frekvenční měnič. Aby vše mohlo fungovat, tak jsem musel nejdříve stáhnout nachystanou knihovnu tohoto prvku. Při této variantě bylo mnohem komfortnější nastavit jednotlivé parametry než v předchozím případě. Narazil jsem ovšem také na problémy, kde nebyly všechny parametry pojmenovány a byly značeny jiným adresovým číslem než v technické dokumentaci měniče. Při nastavování jsem

ovšem nešel do takové hloubky a označené parametry (slovně označené) mi pro praktickou realizaci dostačovaly.



Obrázek 18: Část parametrů frekvenčního měniče nastavená přes CANopen

Obě možnosti nastavování jsem si vyzkoušel a ve finále jsem realizoval nastavení First Setup přes obrazovku frekvenčního měniče a zbylé parametry jsem nastavil pomocí fieldbusové sběrnice.<sup>11</sup>

### 8.3 Programování PLC

Programování PLC jsem realizoval v již zmiňovaném softwaru SoMachine. Při samotném vytváření aplikace jsem pracoval s více programovacími jazyky dle IEC 61131-3, kterými byly v mém případě jazyky CFC (Continuous Function Chart), LD (Ladder Diagram) a FBD (Function Block Diagram). Více variant jsem zvolil v závislosti na kladených požadavcích konkrétní programové části.

Celková naprogramovaná aplikace není nikterak obsáhlá a je navrhnutá pro základní ovládání elektrického pohonu, kde je možné řídit rychlost a směr otáčení motoru. Jelikož je hardware navrhnut kompletně, tak při dalším vývoji tohoto zařízení bude hlavní doménou vývoje právě vylepšení softwarové části. Při budoucím návrhu bude nutné mít rozsáhlé znalosti z kybernetiky a fyziky pro sestavení kvalitního (nikoliv složitého) modelu a jeho následné realizace v PLC.

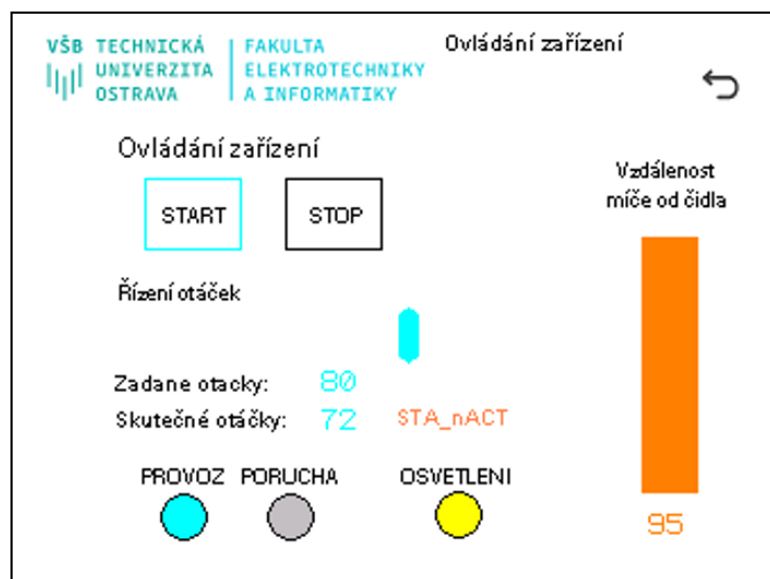
<sup>11</sup> Nastavené parametry - viz. příloha

## 8.4 Návrh vizualizace operátorského panelu

Navrhnutá aplikace operátorského panelu obsahuje celkem 5 obrazovek a 14 podružených pop-up oken<sup>12</sup>. Pro ovládání a zobrazování dat jsem musel vytvořit nové proměnné, které bylo nutné provázat s programem v PLC. Veškeré použité proměnné byly charakteru BOOL a INT.

Tabulka 4: Seznam jednotlivých obrazovek operátorského panelu

Panel ID	Název panelu	Použití
1	Menu	Základní menu-rozcestník
200	Ovladani	Ovládání stanoviště, zobrazení aktuálních stavů a veličin
300	Sbernice	Zobrazení koncepce zapojení sběrnic
400	TriD_model	Rozcestník pro zobrazení 3D řešení modelu.
1000	Mobil_uvod	Uvodní obrazovka při připojení se na zařízení přes mobilní telefon

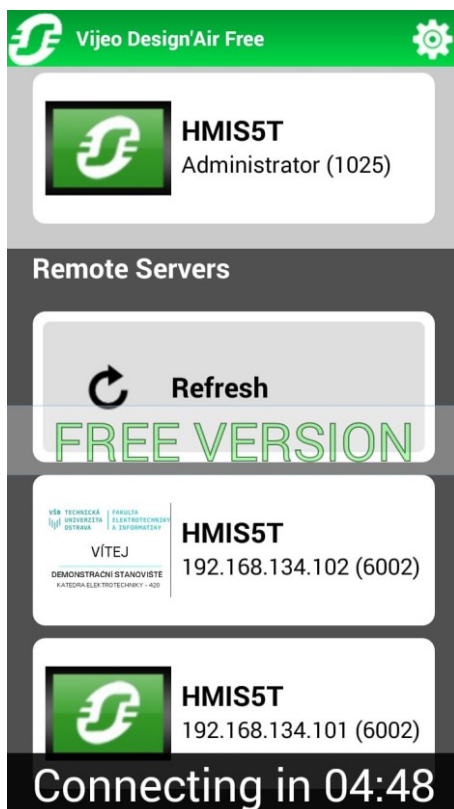


Obrázek 19: Obrazovka operátorského panelu - Panel - 200:Ovladani

<sup>12</sup> Vyskakovací okno

#### 8.4.1 Vzdálený přístup k operátorskému panelu

K operátorskému panelu je také možné se připojit na dálku pomocí smartphonu či tabletu pomocí volně dostupného programu Vijeo Design' Air Free (bezplatná verze je omezena na možnost vzdáleného ovládání pouze 2 min. v 7. min. intervalech). V programu na tvorbu vizualizace je nutné nastavit možnost vzdáleného přístupu a poté je snadné se připojit pomocí wifi sítě RM31.12. Možnost ovládání je naprosto identická ve srovnání s fyzickým HMI.



Obrázek 20: Vzdálený přístup k operátorskému panelu - Panel - 1000:Mobil\_uvod

## 9 Uvádění zařízení do provozu

U uvádění zařízení do provozu (oživování) jsem řešil předem neočekávané problémy.

Při prvotním oživování zařízení došlo k chybě z nepozornosti, kdy jsem přivedl do operátorského panelu napájecí napětí 230 VAC. Z důvodu této chyby došlo k přepálení dvou ochranných elektronických součástek na plošném spoji řídicí jednotky operátorského panelu. Konkrétně se jednalo o pojistku, transil a vodivou cestu mezi těmito součástkami. Musel jsem tedy obstarat tyto součástky a následně jsem je předal odborníkovi, který tyto malé součástky opět napájel na plošný spoj. Tento úkon jsem sám nerealizoval, protože se jednalo o SMD součástky a nebylo zde místo pro jakékoliv chyby při pájení.

Dalším nečekaný problém nastal při spouštění motoru, který nebyl schopen se roztočit a chybu se mi dlouho nedařilo najít. Software fungoval správně a zdálo se prakticky nemožné, že může být chyba v HW konfiguraci. Při zapojení motoru jsem si ovšem nebyl jistý, jak zapojit brzdný modul uvnitř motoru k jeho řídicí jednotce HBC (Holding brake control). Jelikož se mi nepodařilo získat jakoukoliv dokumentaci, tak jsem měřením pomocí multimetru došel k závěru, že se jedná o vodiče potenciálově spojené a na polaritě tedy nezáleží. Nakonec se ukázalo, že na polaritě záleží a po prohození vodičů na svorkovnici -2X6 se problém vyřešil a motor byl již schopný chodu.

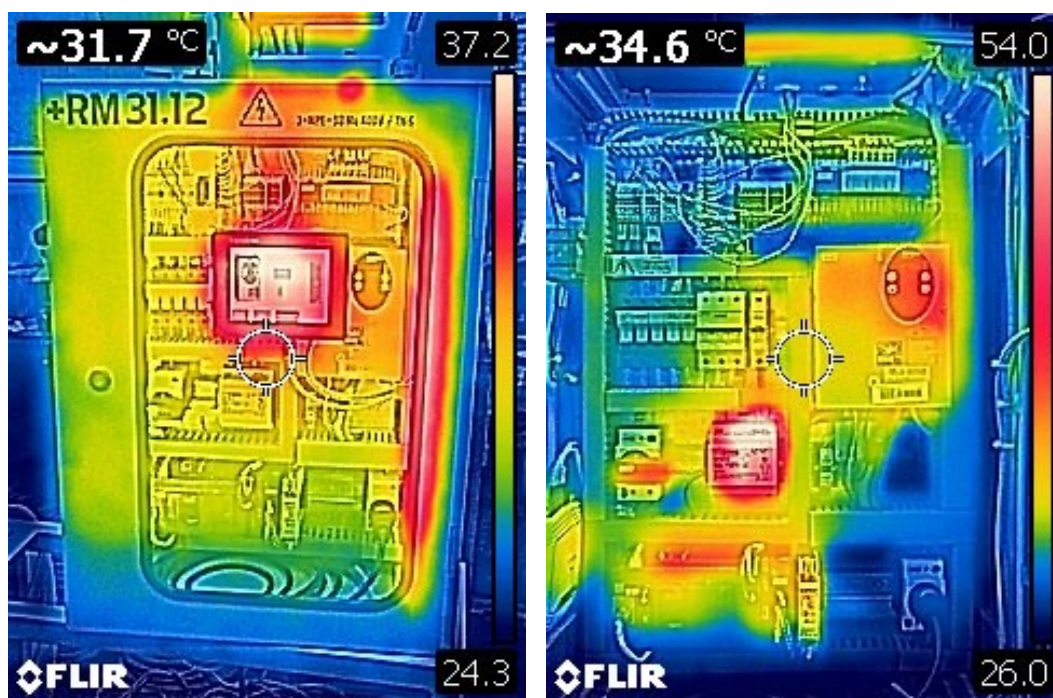
Při oživování sběrnice CAN jsem musel zabezpečit oba dva konce vedení zakončovacím odporem. PLC mělo tento odpor již v sobě integrováno a pomocí spínače LT ON/OFF šlo tento odpor zařadit v závislosti na umístění zařízení na sběrnici. V případě frekvenčního měniče jsem ovšem musel dokoupit uhlíkový rezistor. Jelikož je sběrnice použita pro vzdálenost pouze 1 metr, tak jsem se neubránil pokusu a vyzkoušel jsem funkčnost bez zakončovacího odporu. Funkčnost byla bezproblémová, samozřejmě jsem dodržel stejné rychlosti přenosu všech zařízení na sběrnici.



Obrázek 21: Měření integrovaného odporu uvnitř PLC jednotky

## 10 Termovize

Zajímavým výstupem je termovizní měření, které jsem prováděl kamerou od firmy FLIR. Pomocí této metody jsem nedestruktivním a bezkontaktním způsobem ověřil, zda se nenachází na vyrobeném zařízení potenciální problémové oblasti, které by mohly způsobit v budoucnu nežádoucí poruchu.



Obrázek 22: Měření teploty na zařízení pomocí termokamery

Přiložené obrázky z kontroly rozváděče byly snímány po 30 minutách v provozu. Z měření vyšly předem očekávané výsledky. Největším zdrojem tepla byl stabilizovaný zdroj pro ovládací obvody 24 VDC. Tento stav byl způsoben tím, že byl zdroj při maximálním proudovém odběru zatížen na 94 %. Dalším výrazným zdrojem tepla byla obrazovka operátorského panelu s centrální jednotkou. Z obrázků v příloze je také možné pozorovat, že dochází k výraznému rozptylu tepla u zapojených led diod a dochází k vedení tohoto tepla skrze stěny, na kterých je osvětlení led diod umístěno. Jednotlivé vodiče nedosahují výrazných teplot, které by mohly mít negativní vliv na chod celého zařízení. Naměřené výsledky považuji za přijatelné pro správný chod navrhnutého zařízení.

## 11 Budoucí vývoj stanoviště

Demonstrační stanoviště se nachází ve stavu, kdy je téměř kompletní HW konfigurace. Během realizace jsem tento návrh bral za finální. V průběhu práce mě ovšem napadla spousta inovací, které by bylo vhodné při budoucí práci na tomto zařízení realizovat. Jako první věc bych přidal k hlavnímu vypínači pomocný spínací kontakt, který by sloužil jako vypínač i pro případ napájení pouze ovládacích obvodů (napájení pomocí 1f zásuvky -1XD3.1). V dalším případě bych vyměnil klasickou průchodku PG20 za ethernetovou průchodku pro možné spojení s počítačem přes kabel typu CAT. V neposlední řadě bych také přidal schránku pro technickou dokumentaci.

Po dokončení těchto úkonů je možné posunout dále 3D návrh rozváděče, kde je možné optimalizovat jednotlivé přístroje tak, aby obsahovaly větší množství dat, které je možné posléze využít po generování automatických výkresů pro stroje. Při návrhu modelu bude také vhodné soustředit se na tzv. smart wiring v oblasti vedení kabelů. 3D návrh demonstračního stanoviště naskýtá spoustu potenciálních vylepšení, které jsou ovšem svázána s praktickými zkušenostmi budoucího designéra tohoto úkolu.

Při budoucích inovacích bude nutné se soustředit na samotný návrh regulačního systému pro vybalancování míče. Tento úkon bude prováděn v programovém prostředí SoMachine. Návrh vizualizace operátorského panelu lze považovat téměř za uzavřený. Samotné PLC ovšem nabízí další možnost vizualizace dat. Tato věc zatím nebyla realizována. V budoucnu by bylo vhodné navrhnout také tuto variantu společně se vzdálenými přístupy. V neposlední řadě může být předmět dalšího bádání oživení MODBUS komunikace jako alternativy ke komunikačnímu protokolu CANopen.



## Závěr

V bakalářské práci jsem řešil návrh demonstračního stanoviště, který může být využit při výuce na katedře elektrotechniky. V práci jsem se soustředil na vytvoření projektové dokumentace v prostředí EPLAN a jeho rozšiřujících platformách. Jako součást elektrických schémat a schémat rozmístění jednotlivých zařízení uvnitř rozváděče jsem vytvořil 3D model zařízení, který může sloužit pro lepší vizualizaci navržené technologie. Při vytváření 3D modelu jsem si také musel osvojit ovládání nástroje AutoDesk Inventor, kde jsem vytvářel jednotlivé prvky, které jsem následně importoval do nové databázové knihovny nástroje EPLAN. Během návrhu této části jsem také řešil ekonomickou bilanci projektu či legislativní požadavky na technologii. Navrhnutou práci jsem následně realizoval na dílně určené pro výrobu rozváděčů nízkého napětí.

V práci jsem se také soustředil na programování v rozhraní SoMachine, kde jsem vytvořil základní programové vybavení pro řídicí systém (PLC). Toto prostředí ovšem nabízí větší možnosti využití a jedním z nich v mém případě bylo začlenění sběrnicových systémů do této technologie pro snadnější komunikaci mezi zařízeními, kde jsem například nastavoval parametry frekvenčního měniče přes protokol CANopen (skrže program SoMachine). V dnešní době je nejtypičtějším sběrnicovým systémem komunikace založená na Ethernetu, kterou jsem využíval pro předávání dat mezi PLC, HMI a vzdálenými zařízeními, kterými může být například mobilní telefon či počítač. V neposlední řadě jsem navrhoval vizualizaci operátorského panelu pro snadnější komunikaci mezi elektrickým zařízením a uživatelem.

Během vypracovávání bakalářské práce jsem se setkal s řadou menších (nikoliv nepodstatných) technických problémů, bez kterých by celé dílo nemohlo fungovat.

Jsem velmi rád, že jsem si vybral teoretickou práci na katedře elektrotechniky, kde jsem dostal příležitost věnovat se relativně multioborové problematice, která dle mého názoru stále spadá do kompetencí projektanta elektrických zařízení. Během bakalářské práce jsem se také přesvědčil o tom, jak časově náročné může být, když všechny dílčí části projektu leží na bedrech jednoho člověka. Nad mnohými problémy jsem strávil abnormálně velké množství času, což mi ovšem nevadilo, protože jsem se dozvídal užitečné informace, které s jistotou využiji ve svém budoucím profesním životě.



## Použitá literatura

- [1] ZEZULKA, František. Průmyslový ethernet. AUTOMA: časopis pro automatizační techniku [online]. 04/2005 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslovy-ethernet-2005\\_04\\_30417\\_493/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslovy-ethernet-2005_04_30417_493/)
- [2] FRIDRICH, Ivan. Nástroje pro práci s CANopen slovníky a jejich integrace do vestavěných zařízení. Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Pavel Píša, Ph.D.
- [3] POUCHA, Pavel. Přenos dat po linkách RS485 a RS422. HW.CZ [online]. 25.8.1999 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz//teorie-a-praxe/dokumentace/prenos-dat-po-linkach-rs485-a-rs422.html>
- [4] SOLTERO, Manny, Jing ZHANG a Chris COCKRIL. RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations. TEXAS INSTRUMENTS [online]. June 2002, 25 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slla070d/slla070d.pdf>
- [5] VIVIANO, Anthony a Vikas THAWANI. Top 7 design questions about isolated RS-485 transceivers. TEXAS INSTRUMENTS [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: [https://e2e.ti.com/blogs\\_/b/analogwire/archive/2018/07/26/top-7-design-questions-about-isolated-rs-485-transceivers#](https://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire/archive/2018/07/26/top-7-design-questions-about-isolated-rs-485-transceivers#)
- [6] CANopen: Hardware Setup Manual [online]. 2010 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: [https://download.schneiderelectric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=35010857\\_K01\\_000\\_04.pdf&p\\_Doc\\_Ref=35010857K01000](https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=35010857_K01_000_04.pdf&p_Doc_Ref=35010857K01000)
- [7] Průmyslový ethernet je nyní větší než fieldbusy. Elektropřůmysl.cz [online]. 2019, s. 2 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.elektropřůmysl.cz/casopis/2019/leden/>
- [8] Způsob instalace rozváděče nízkého napětí. Elektropřůmysl.cz [online]. 9.6.2015 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.elektropřůmysl.cz/elektroinstalace/zpusob-instalace-rozvadec-nizkeho-napeti>
- [9] Průmyslové sběrnice. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií – ústav mikroelektroniky [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap\\_4.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap_4.pdf)
- [10] EPLAN Pro Panel - virtuální projektování rozvaděčů ve 3D. EPLAN [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.eplan.cz/cz/reseni/prehled-produktu/eplan-pro-panel/>
- [11] Filtry vyšších harmonických zkreslení. MMSpektrum [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/filtry-vyssich-harmonickych-zkresleni.html>
- [12] Ethernet. IT SLOVNIK.cz: Počítačový slovník [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/ethernet>

- [13] ČSN EN 60 204-1 ED.2. Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky. 2007
- [14] ČSN EN 61 439-1 ED.2. Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení. 2012.

## Seznam příloh

<b>Příloha</b>	<b>Popis přílohy</b>	<b>Počet stran</b>
Příloha A	Výkresová dokumentace	22x A4
Příloha B	Nastavení parametrů frekvenčního měniče	2x A4
Příloha C	Návrh vizualizace operátorského panelu	4x A4
Příloha D	Návrh PLC (HW & SW)	7x A4
Příloha E	Fotodokumentace z realizace	10x A4
Příloha F	Měření teploty rozváděče pomocí termovizní kamery	5x A4
Příloha G	Kompaktní disk	